

# 1.3

## LOS SISTEMAS PLAYA-DUNA DE LAS BALEARES

---

Jaume SERVERA, Antonio RODRÍGUEZ-PEREA y José A. MARTÍN-PRIETO

*Dept. Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca.*

### INTRODUCCIÓN

Los sistemas dunares litorales son espacios de acumulación de sedimento arenoso que se desarrollan tierra adentro de la mayoría de playas de las islas Baleares. De hecho deben considerarse como parte de un sistema más complejo, sistema playa-duna, que abarca dos ámbitos diferenciados: un ámbito sumergido, controlado por la hidrodinámica marina, y otro subaéreo cuyo agente de modelado principal es la dinámica eólica. Las dunas litorales constituyen un paisaje ondulado que se extiende desde la playa tierra adentro de forma organizada, y que está formado por unidades individuales de relieve positivo a las que llamamos dunas. A pesar de que los sistemas dunares pueden analizarse morfológica y dinámicamente de forma independiente, su existencia, su estructura y su equilibrio no puede desligarse de la playa, incluyendo la playa sumergida, ni tampoco del contexto medioambiental en que se formaron y han ido evolucionando.

El estudio de los sistemas dunares litorales ha sufrido una importante evolución en los últimos años. Desde las descripciones sistemáticas de Carter (1988) y Carter *et al.* (1992) o los criterios de gestión de Meulen *et al.* (1989), Carter *et al.* (1992), Sherman y Nordstrom (1994) o Clark (1996), se ha pasado a la discusión de sus valores como ecosistemas (Martínez y Psuty, 2004). De todas formas, su formación y su dinámica presentan todavía puntos por resolver, especialmente a escalas temporales intermedias (Sherman y Bauer, 1993). Son varios los modelos conceptuales existentes y aunque es necesaria su revisión (Hesp, 1988, 2002; Pye, 1990; Psuty, 1988, 2004; Arens y Wierma, 1994), el modelo de Psuty (2004), presenta gran interés por cuanto correlaciona el balance sedimentario de la playa y las dunas analizando su interrelación.

Los sistemas playa-duna de las Baleares han sido estudiados predominantemente a través de sus depósitos relictos. De hecho, la isla de Mallorca es un área de referencia en el Mediterráneo occidental en cuanto a los depósitos cuaternarios litorales (Butzer y Cuerda, 1962; Butzer, 1975; Cuerda, 1975; Hillaire-Marcel *et al.*, 1996; Rose *et al.*, 1999). No obstante, los trabajos geomorfológicos de los sistemas actuales se inician con Rosselló (1969), en el sur de Mallorca y continúan con Muntaner y Jaime (1980) en la zona norte de la misma isla y con Rita *et al.* (1988 y 1991) en Menorca. En la última década aumenta el número de trabajos que estudian sistemas dunares concretos (Corbí, 1990; Rodríguez-Perea *et al.*, 1990; Rita *et al.*, 1991; Servera y Grimalt, 1994; Servera, 1998 a y b; Gelabert *et al.*, 2002; Ser-

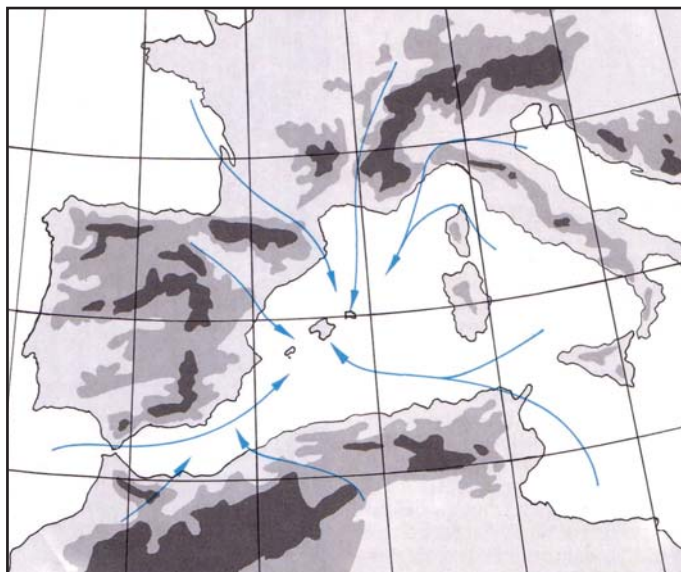


Figura 1.

Principales direcciones de llegada de viento a las Baleares (Jansà, 1979).

vera, 2003 a y b), que analizan los sistemas dunares de las Baleares en su conjunto (Servera 1997), o que analizan su dinámica (Servera *et al.*, 1994 a; Servera y Martín, 1996; Servera y Rodríguez-Perea, 1996; Martín y Rodríguez-Perea, 1996). Finalmente han sido también numerosos los análisis sobre la gestión ambiental de los sistemas playa-duna (Servera *et al.*, 1994 a; Rodríguez-Perea *et al.*, 2000; Roig, 2003 a y b; Roig *et al.*, 2004, 2005, 2006 a y b). Es necesario resaltar la importancia de tales trabajos en un sistema económico que, como el balear, gravita sobre estos frágiles espacios.

## RÉGIMEN EÓLICO

Las costas de las islas Baleares están abiertas a los cuatro puntos cardinales y al igual sucede con los regímenes de viento dominantes (Fig. 1). En invierno y al final del otoño e inicio de la primavera predominan los vientos de componente N, seguidos de los ponientes. En cambio, en verano predominan los levantes y NE.

De todas maneras, cada isla presenta algunas diferencias: en Eivissa y Formentera, más resguardadas, los vientos de componente norte no tienen igual importancia que en las otras islas, en la estación fría predominan los ponientes y en la cálida los levantes. En Mallorca, en ausencia de brisas costeras, los vientos dominantes son el NE y el SW, es decir, vientos paralelos a la sierra de Tramuntana, relieve dominante que transcurre de NE a SW a poniente de la isla, con relieves superiores a los mil metros. No obstante, el norte y levante de Mallorca sí son alcanzados de lleno por la tramontana, con ráfagas que superan los 180 km/h. Con régimen de brisas costeras, Mallorca, única isla en que adquieren una cierta entidad, presenta vientos perpendiculares a la costa que llegan a alcanzar entre 7 y 8 m/s durante las horas de más calor. En Menorca, se registran los vientos más fuertes del archipiélago con predominio de componente norte, seguidos de los provenientes del SW, el NE y el W. Dos de cada tres días el viento supera los 8 m/s.

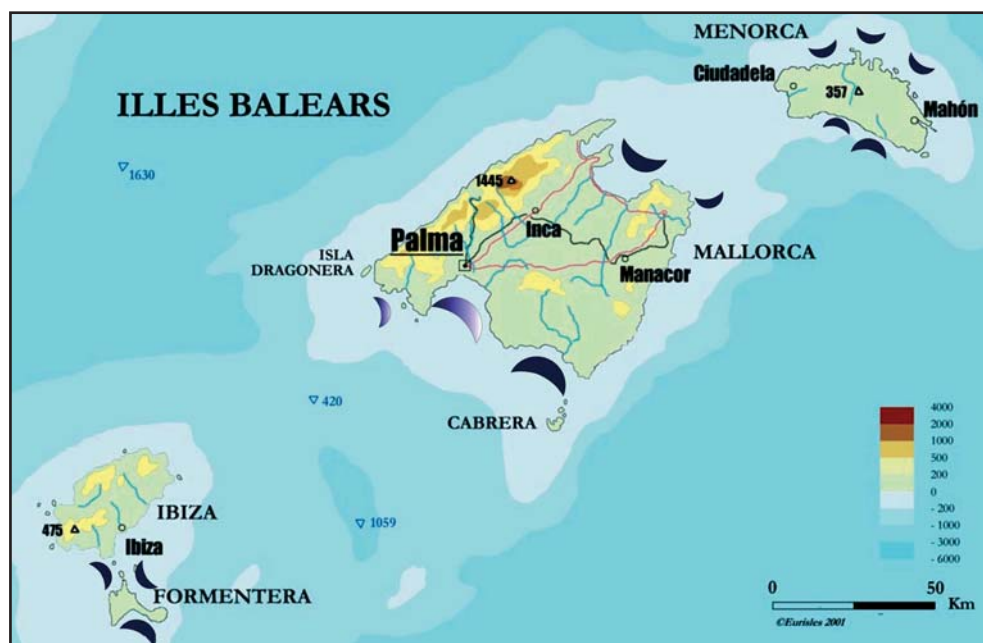


Figura 2. Localización de los principales sistemas playa-duna de las Baleares.

## LOCALIZACIÓN DE LOS SISTEMAS PLAYA-DUNA

Los sistemas playa-duna de las Baleares se localizan en los entrantes principales de la costa (Fig. 2) y presentan una buena correlación entre su superficie y su grado de obertura al mar. Buena parte se encuentran en zonas deprimidas, sobre una barra litoral que aísla una zona húmeda o albufera. Normalmente se localizan sobre o en relación con sistemas pleistocenos relictos y/o fosilizados y litificados. Los sistemas mayores se encuentran en Mallorca y en Formentera y los más numerosos se localizan en Menorca.

En Formentera, incluyendo el islote de s'Espalmador, encontramos cuatro sistemas (Fig. 3) cuyas dimensiones oscilan entre 24 y 515 ha, mientras que en Eivissa se localizan tan solo dos y de pequeñas dimensiones (37 y 27 ha). En Mallorca se sitúan ocho sistemas entre los que se encuentran los de mayor extensión del archipiélago; así, sa Ràpita-es Trenc, al Sur de Mallorca, alcanza 441 ha, mientras el sistema de la bahía de Alcúdia supera las 1.400 ha. En Menorca se emplazan 14 sistemas con extensiones entre 4 y 106 ha. En total, y de acuerdo con Servera (1997), Baleares presenta un total de 28 sistemas playa-duna con una extensión promedio de 127 ha por sistema y una extensión total de 3.558 ha. Hay que señalar no obstante, que algunos de los sistemas dunares más importantes, como el de la bahía de Palma, han sido absolutamente arrasados por la ocupación turística del litoral.

|               | nº | Ha    |
|---------------|----|-------|
| Formentera    | 4  | 680   |
| Eivissa       | 2  | 64    |
| Mallorca      | 8  | 2.398 |
| Menorca       | 14 | 416   |
| Illes Balears | 28 | 3.558 |

Figura 3. Número y extensión de los principales sistemas playa-duna de las Baleares, según Servera (1997).

## ORGANIZACIÓN DE LOS SISTEMAS PLAYA-DUNA DE LAS BALEARES

Ya hemos señalado que la práctica totalidad de las zonas dunares de las Baleares se encuentran en relación con las playas, formando sistemas playa-duna. Tan sólo un sistema, el de s'Estalella, ha perdido la playa que lo alimentaba y sus depósitos se encuentran en proceso de erosión. En todos los demás, encontramos una playa sumergida que hacia tierra evoluciona a la playa subaérea y al primer cordón dunar.

### *El origen del sedimento*

Nos interesa ahora, antes de describir la organización dunar, fijarnos en las características de la playa, e incluso en las zonas más profundas, el *nearshore* y el *offshore*, ya que en ellas encontraremos explicación a algunas de las particularidades diferenciales del litoral balear. La inexistencia de cauces fluviales permanentes es una de las características de las islas que influye decisivamente en la sedimentación costera balear. Los torrentes aportan sedimento a la costa sólo esporádicamente y lo hacen con volúmenes muy modestos, por lo que los sedimentos litorales son mayoritariamente bioclásticos (87% en promedio para Mallorca, según Jaume y Fornós, 1992). Su origen ha de buscarse en los fragmentos de los organismos que colonizan la playa sumergida y el *nearshore*. De hecho, y sin ninguna duda, el elemento más significativo del litoral balear son las praderas de fanerógamas marinas, *Posidonia oceanica*, que rodean las islas desde pocos metros de profundidad hasta batimetrías cercanas a los 50 metros (Figs. 4 y 5).

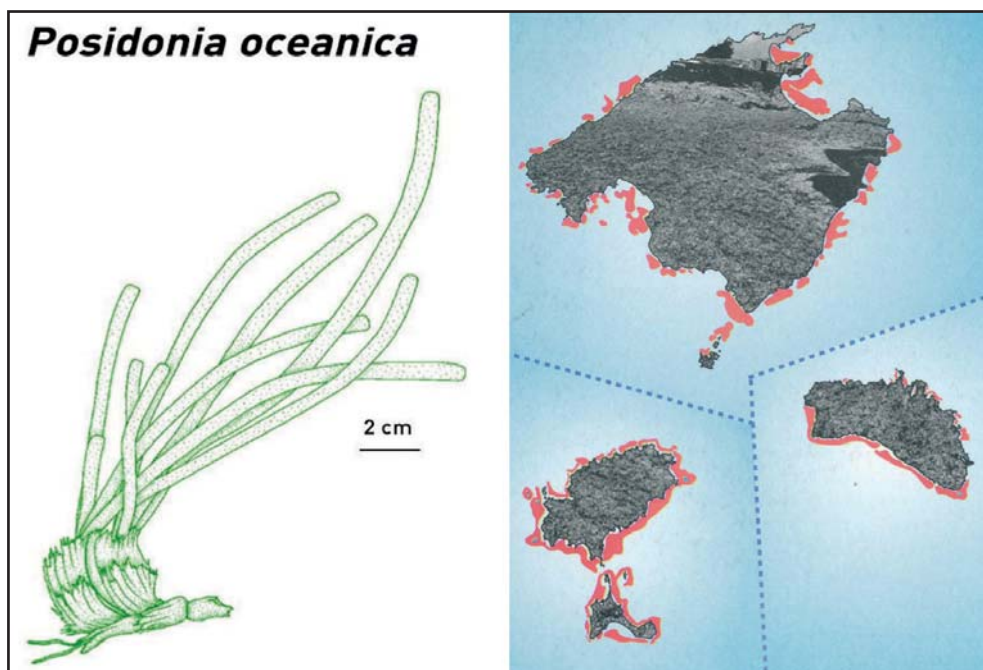


Figura 4. Hojas, rizoma y raíces de *Posidonia oceanica* y mapa de la distribución de las principales praderas de *Posidonia oceanica* alrededor de las Baleares.

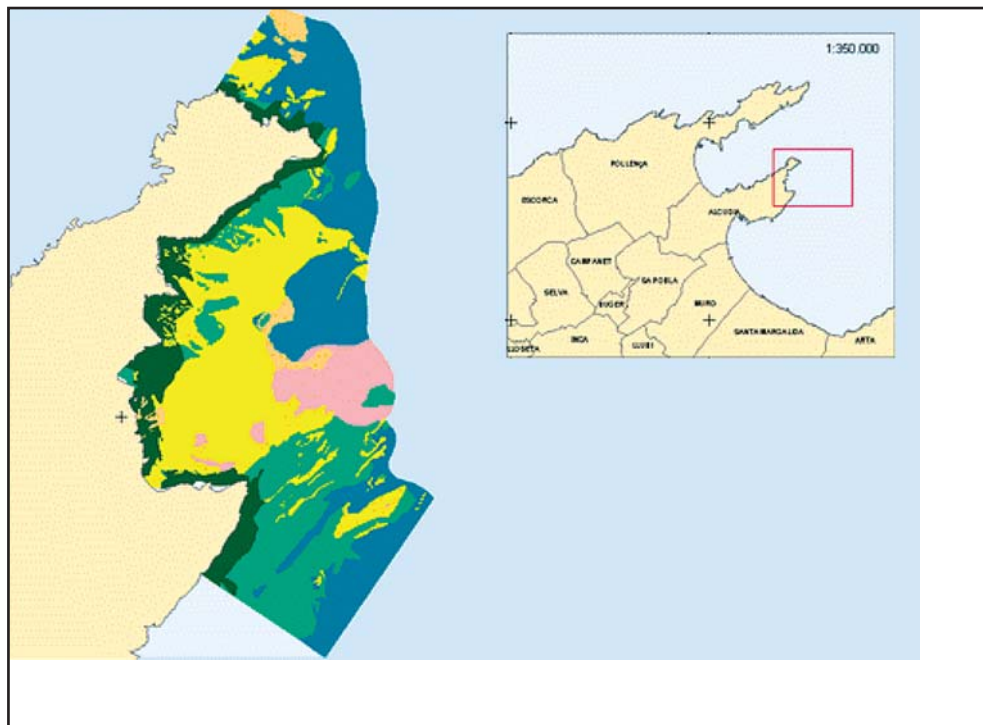


Figura 5. Cartografía de las comunidades vegetales en el litoral del Cap Pinar, en el norte de Mallorca, según el Proyecto Life Posidonia. Dirección General de Biodiversidad del Govern de les Illes Balears (2006).

Tal ecosistema representa, teniendo en cuenta su extensión de más de 2.000 km<sup>2</sup> (Mas *et al.*, 1993), casi la mitad de la superficie emergida de las islas Baleares, y su producción de bioclastos (100 g/m<sup>2</sup>/año según Canals y Ballesteros, 1997) genera un volumen de sedimentos de 200 mil toneladas por año. Naturalmente, la mayor parte de este sedimento se almacena en la plataforma o se transporta a través de mecanismos tipo *spill-over* hacia el talud o hacia zonas más profundas, pero otra parte, decisiva para el balance sedimentario del sistema playa-duna, es transportada por el oleaje hasta la costa. Así pues, la escasa presencia de litoclastos y el dominio de los bioclastos en las playas baleares se explica por la gran extensión que ocupan las praderas de *P. oceanica*, pero tal influencia en la composición del sedimento no es la única función que, desde un punto de vista geomorfológico, ejercen tales ecosistemas.

En efecto, las matas –entramado de raíces y sedimento que puede alcanzar varios metros de potencia– y las hojas de la *Posidonia* constituyen un relieve positivo de orden métrico sobre los fondos litorales. Este relieve aumenta, además, la rugosidad del fondo con lo que constituye un freno efectivo del oleaje que amortigua su acción sobre la playa hasta un 40 % según Jeudy de Grissac (1984) y Gacia y Duarte (2001). Pero, aún hay más, las plantas de *P. oceanica* son caducifolias y pierden sus hojas al final del verano. Sobre dichas hojas se han ido asentando a lo largo del año numerosos organismos epifitos, muchos de ellos con partes duras. De esta forma, las hojas cargadas de organismos se desprenden de las plantas y, con una densidad ligeramente superior al agua marina, se transportan hacia



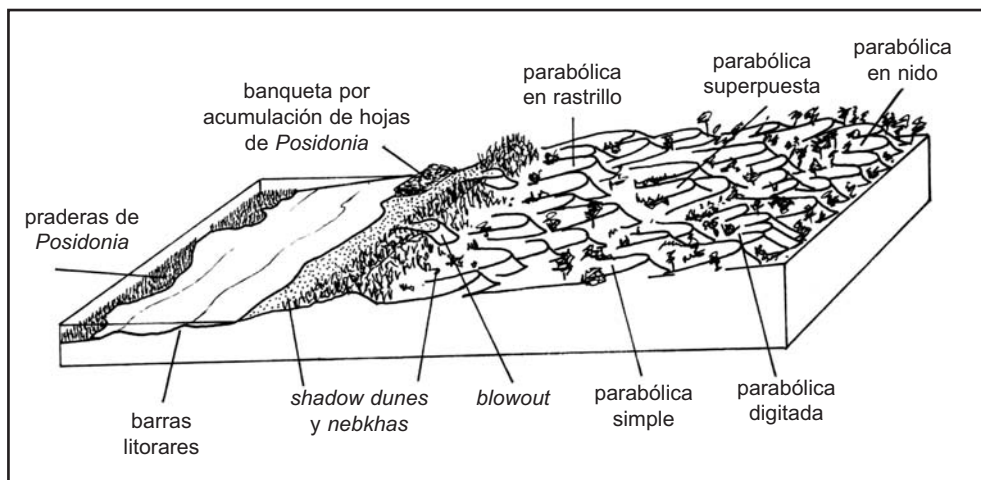


Figura 6. Estructura de los sistemas playa-duna de las Baleares.

la playa donde se depositan en forma de bermas vegetales o banquetas (Boudouresque *et al.*, 1984). Estas banquetas constituyen, no sólo una importante aportación de sedimento a la playa, sino que además representan una extraordinaria protección frente a los temporales (Servera *et al.*, 1994 b).

### Las playas

Además del carácter bioclástico de sus sedimentos y de la presencia de bermas vegetales, las playas de las Baleares presentan otros elementos comunes que las definen: la ausencia de mareas y su disposición aislada (*natural pocket beaches*) son posiblemente las más destacadas. En efecto, el régimen de mareas en las Baleares, como en el resto del Mediterráneo occidental es muy escaso, de hecho, las oscilaciones debidas a cambios barométricos superan el rango mareal. Así, la zona del *foreshore* puede considerarse inexistente o definida tan sólo por el oleaje. Por otra parte, el balance sedimentario de cada una de las playas se circunscribe a ella misma y puede considerarse que no hay intercambio sedimentario entre unidades vecinas. En este sentido pueden considerarse como aisladas, con la excepción de las demasiado frecuentes “regeneraciones artificiales” que tuvieron lugar a finales del siglo pasado (1.840.000 m<sup>3</sup>, según estimaciones de Balaguer, 2005).

Muchas de las playas, especialmente las de mayores dimensiones, han de considerarse de carácter disipativo, con extensiones importantes de sedimento en la playa sumergida. Las más pequeñas suelen desarrollarse en el fondo de calas o situarse en las costas más expuestas, en general abiertas hacia tramontana. La amplitud y superficie de la playa sub-aérea está relacionada negativamente con su frecuentación, así, las playas más visitadas soportan una presión turística muy intensa a lo que se ha de añadir la ausencia de gestión y de cualquier tipo de criterio geomorfológico, salvo las excepciones menorquinas. La supuesta necesidad de limpieza representa una fuerte agresión de maquinaria pesada que retira la protección de los restos de *P. oceanica*, destruye las *foredunes* y compacta el sedimento fragilizando las playas y debilitando su capacidad de regeneración (Roig, 2002).

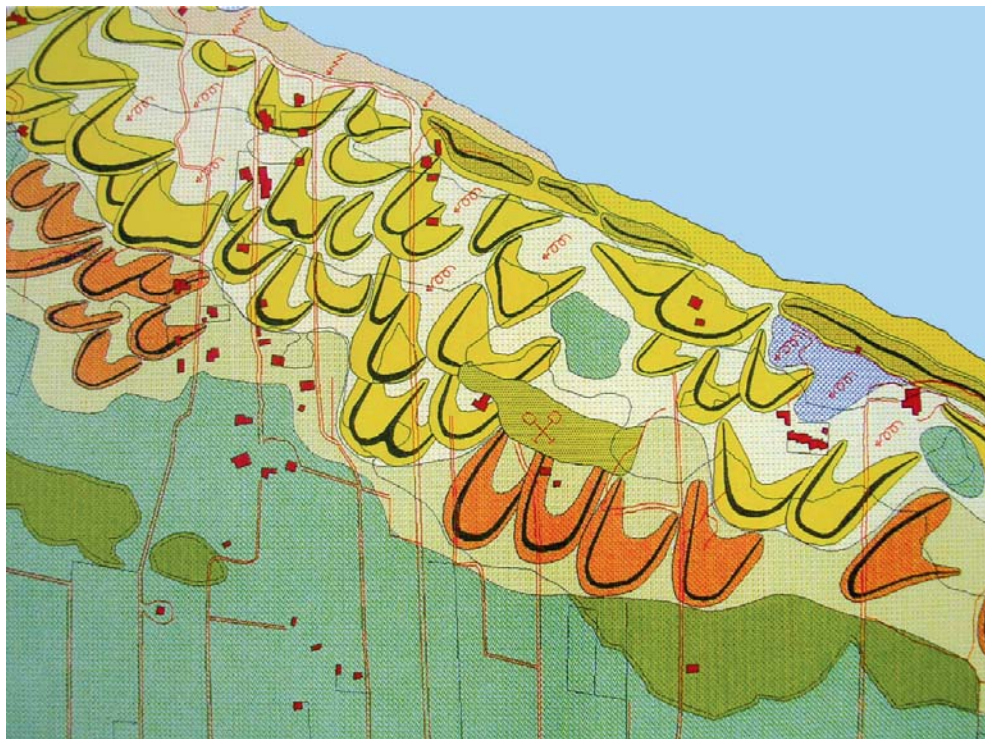


Figura 7. Mapa geomorfológico de un sector representativo del sistema playa-duna de la bahía de Alcudia.

Consecuencia de estos procesos degradativos, en la parte alta de la playa se encuentran formas dunares embrionarias junto a eco-dunas (Carter *et al.*, 1990) que durante la temporada baja, de poca frecuentación de la playa, intentan recuperar las cicatrices erosivas producidas durante los periodos de máxima afluencia turística.

#### *Las foredunes*

Las primeras acumulaciones dunares se producen gracias a la interferencia eólica de vegetación psamófila, mayoritariamente *Ammophila arenaria*, y consisten en cordones más o menos continuos de *foredunes* (Fig. 7). Dicha continuidad es muy elevada en las playas menos antropizadas y se encuentra seccionada por numerosos *blowouts* en las más frecuentadas. El estado de preservación de tales cordones (Hesp, 1988) se correlaciona de forma muy clara con el estado global del sistema playa-duna, de forma que puede utilizarse dicho estado como indicador de la calidad de la gestión que se realiza y de su evolución (Roig *et al.*, 2006 a). Las formas dunares más comunes són *nebkhas*, *shadow dunes* y, en las zonas con taludes erosivos (antrópicos o no), *eco-dunes*. Estas morfologías efímeras se acumulan sobre cordones transversales más o menos continuos, frecuentemente vegetados por *Ammophila*. Las dimensiones de tales cordones dependen de la fuerza del viento y su continuidad lateral se ve interrumpida por canales de deflación (*blowouts*) de origen mayoritariamente antrópico.

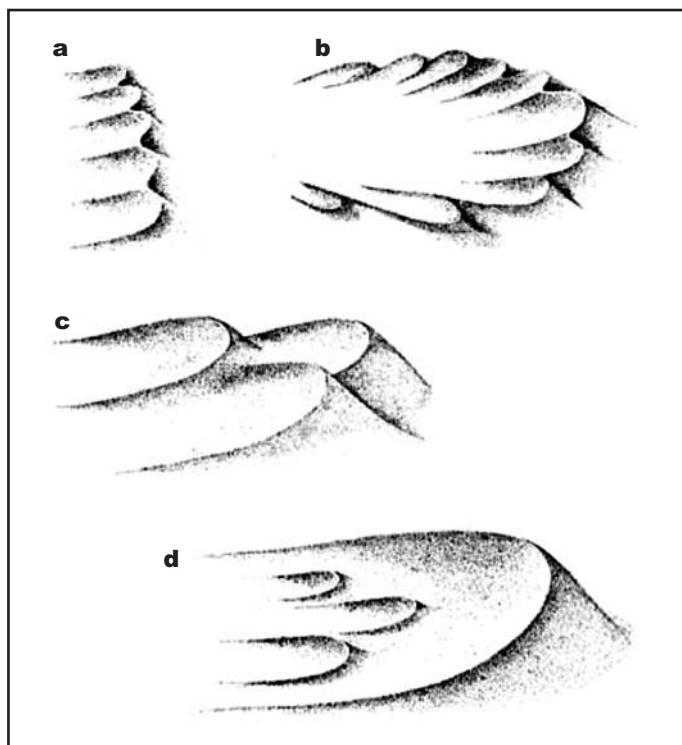


Figura 8.

Tipos de parabólicas compuestas. a: en rastrillo (*en échelon*). b: digitada (*digitated*). c: superpuestas (*superimposed*). d: en nido (*nested*).

### *Las dunas móviles o semiestabilizadas*

Tras los cordones transversales se suele desarrollar una depresión o sistema interdunar que da lugar, tierra adentro, a las primeras dunas móviles. Presentan morfologías parabólicas (Fig. 6), mejor o peor definidas, en general de carácter simple y con abundante cobertura vegetal, especialmente en sus flancos. Se disponen en grupos a modo de oleadas, que avanzan hacia sotavento a la vez que van siendo fijadas por la presencia cada vez mayor de cobertura vegetal (Fig. 7). Así, y de modo general, puede decirse que las más próximas a la playa son las más móviles y las de menor edad. No obstante, la presencia de procesos erosivos en la playa y en las *foredunes* se traduce en una progresiva desestabilización hacia el interior del sistema playa-duna, que complica la regla general antes señalada.

De todas maneras, en la mayoría de sistemas puede diferenciarse esta zona de dunas móviles o semiestabilizadas de la zona de dunas estabilizadas tanto por su disposición geográfica, en las zonas más internas del sistema, como por la movilidad del sedimento o por la energía de sus formas.

La parte más externa de esta zona de dunas móviles o semiestabilizadas está formada por grupos de dunas parabólicas simples, más o menos cubiertas por vegetación arbustiva, y que se organizan de forma paralela a la línea de costa. Entre ellas se encuentran zonas sin vegetación donde se observan tanto canales de deflación, como frentes dunares. Cuando nos encontramos dunas compuestas (Fig. 8) éstas son del tipo en rastrillo (*en-échelon*), aunque también se encuentran algunas superpuestas (*superimposed*). Su dinámica está





Figura 9. Estructura y diferenciación entre las zonas de dunas móviles o semimóviles (en amarillo) y las estilizadas (en marrón) en Son Serra de Marina (N de Mallorca).

gobernada por la interacción entre la dinámica sedimentaria y las discontinuidades en la cobertura vegetal. No obstante, los procesos erosivos sobre el primer cordón de *foredunes*, especialmente cuando son antrópicos, se traducen, a veces amplificándose, en la reactivación de los procesos eólicos de la zona de dunas móviles. Se producen cubetas y canales de deflación que a partir de los *blowouts* se resuelven en frentes dunares activos en las partes más internas. Cuando la erosión del cordón transversal de *foredunes* es de gran tamaño, las dunas móviles parabólicas quedan desprotegidas y se destruyen, su forma se desdibuja y tan sólo encontramos montículos sin forma definida, más o menos elípticos, conocidos como *hummocks*. Si la destrucción del frente de playa continua, la deflación es mayor y solamente encontramos una superficie llana con pequeñas morfologías del tipo *shadow dunes* y *nebkhas*. En ambos casos las dunas parabólicas, que antes del proceso erosivo de las *foredunes* se encontraban detrás de ellas, se degradan y se van desplazando hacia el interior del sistema. Tal desplazamiento es tanto mayor cuanto más intensa y permanente es la erosión del primer cordón dunar.

En realidad, la disposición y la dinámica de las dunas móviles o semiestabilizadas, no es homogénea ni lineal, sino que responde a variaciones topográficas (Fig. 10) y a pulsaciones climáticas pasadas que dinamizan o ralentizan su movimiento. Así, en la cartografía detallada de los sistemas dunares de las Baleares pueden identificarse conjuntos de dunas que responden a una pulsación más o menos intensa o localizada.

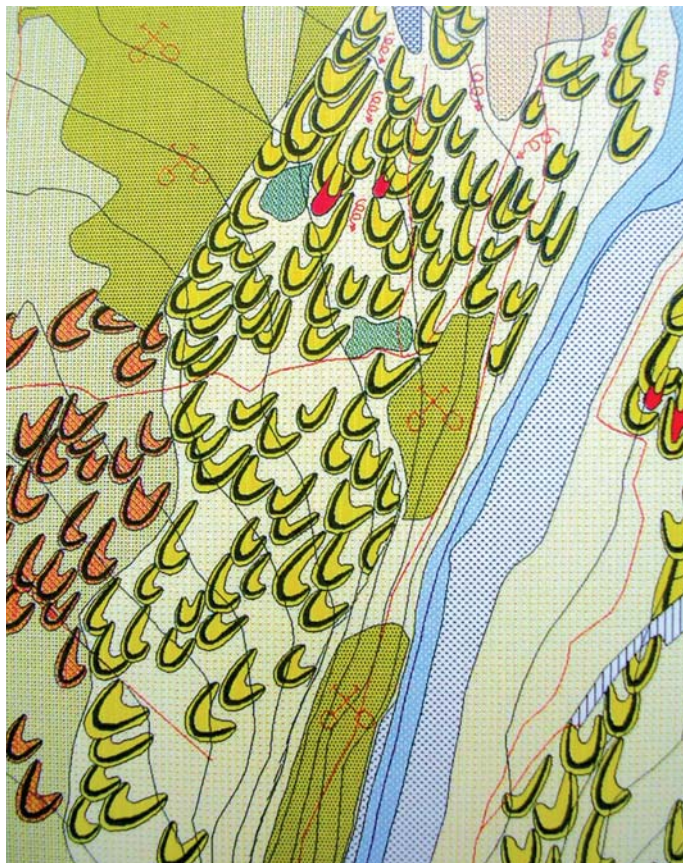


Figura 10.

Disposición de las dunas móviles en la desembocadura del Torrent de na Borges (bahía de Alcúdia).

### *Las dunas estabilizadas*

En las partes más internas de los sistemas playa-duna se localizan formas dunares parabólicas con una dinámica muy ralentizada (Fig. 9). Se trata de formas muy suavizadas con caras de barlovento (*stoss*) y sotavento (*lee*) más uniformes y con menos pendiente que las dunas móviles. La cobertura vegetal, arbórea y arbustiva, es total y los aportes sedimentarios se producen tan sólo por sedimento en suspensión (*grainfall*) en ocasión de eventos eólicos extremos. Las formas parabólicas compuestas son abundantes: en nido (*nested*), digitadas (*digitated*) y superpuestas (*overimposed*). Frecuentemente el lóbulo frontal de las parábolas se presenta erosionado y los brazos aparecen separados pudiendo, en estos casos, ser confundidos dichos brazos con formas longitudinales. El origen de tal erosión hay que buscarlo en los vientos que, canalizados a través de los brazos y con muy poca carga sedimentaria, erosionan con mayor efectividad el frente de la parábola que sus brazos.

### *Humedales*

Bastantes de los sistemas playa-duna de las Baleares encierran en sus partes más internas zonas endorreicas, ocupadas frecuentemente por humedales. Algunos han sido trans-

formados en salinas, otros han sido ocupados por desarrollos turísticos; no obstante, quedan todavía algunos poco modificados que permiten observar las relaciones entre los sistemas playa-duna y los humedales. Episódicamente, como consecuencia de precipitaciones extremas, se producen avenidas extraordinarias que logran romper el sistema dunar y descargar caudales importantes a través de la playa.

Este proceso crea una discontinuidad en el sistema playa-duna que se recupera relativamente rápido en la playa, pero que puede dejar alteraciones más duraderas en las dunas, provocando canales de deflación que activan la dinámica eólica en partes muy internas del sistema dunar.

## CONCLUSIONES

En las Baleares se han desarrollado cerca de treinta sistemas playa duna que ocupan más de 3.500 ha. Se localizan en la mayoría de entrantes litorales a favor de los vientos dominantes que, en nuestras islas, provienen tanto de componentes norte y oeste, predominantes en invierno, como de componente sur y en régimen de brisas, durante el verano. La ausencia de marea y la presencia extensa de praderas de fanerógamas marinas (*Posidonia oceanica*) caracterizan la dinámica litoral de las Baleares. La ausencia de ríos y, por tanto, la escasa aportación de litoclastos define el sedimento arenoso que conforma la playa y las dunas como abrumadoramente bioclástico.

A pesar de la intensísima ocupación litoral durante la temporada turística, aún pueden reconocerse, en algunas playas, cordones transversales de *foredunes* que constituyen el elemento de conexión entre la playa seca y el sistema dunar propiamente dicho. Tras ellos, y a través de una depresión más o menos desarrollada, encontramos un primer sector dunar representado por dunas parabólicas, en general simples, móviles o semiestabilizadas y con cobertura arbustiva más o menos desarrollada. Su dinámica viene condicionada tanto por la cobertura vegetal como por la intensidad eólica, aún cuando en muchos casos se ve incrementada por las discontinuidades (*blowouts*) en el primer cordón dunar. La zona más interna, la menos dinámica, de los sistemas playa-duna de las Baleares está formada por un conjunto de dunas parabólicas estabilizadas por una cobertura arbórea y arbustiva prácticamente total. Son formas suavizadas, muchas veces con el lóbulo frontal erosionado, frecuentemente parabólicas complejas y con aportes sedimentarios únicamente por suspensión (*grainflow*). A menudo los sistemas playa-duna encierran tras de sí áreas endorreicas en las que se instalan humedales.

Los diversos sectores en que se subdividen los sistemas dunares de las Baleares, representan pulsos o eventos climáticamente significativos que reactivan la dinámica dunar, que hoy se encuentra ralentizada. En algunos casos, como en el sistema dunar de es Trenc (véase el capítulo 2.1 en este mismo volumen) se reconocen hasta cuatro episodios holocenos, el más antiguo de los cuales correspondería a la regresión del Würm.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arens, S.M. y Wierma, J. (1994). The Dutch foredunes inventory and classification. *Journal of Coastal Research*, 10: 189-202.
- Bakker, T.W, Jungerius, P.D. y Klijn, J.A. (Ed). (1990). Dunes of the European Coasts: geomorphology, hydrology, soils. *Catena Supplement*, 18: 227 pp.



- Balaguer, P. (2005). *Tipus i evolució de les costes rocoses de Mallorca*. Tesis doctoral. Universitat de les Illes Balears, Palma. 373 pp.
- Bodouresque, C.F., Jeudy de Grissac, A. y Olivier, J. (Ed.) (1984). *International workshop Posidonia oceanica beds*. Marseille, G.I.S. Posidonie pub.
- Butzer, K.W. (1975). Pleistocene littoral-sedimentary cycles of the Mediterranean Basin: A Mallorquin view. In: *After the Austroloplithecines* (K.W. Butzer and G. Isaac eds.) Mouton Press. The Hague.
- Butzer, K.W. y Cuerda, J. (1962). Coastal stratigraphy of southern Mallorca and its implications for the Pleistocene chronology of the Mediterranean Sea. *Journal of Geology*, 70: 398-416.
- Canals, M. y Ballesteros, E. (1997) Production of carbonate particles by phytobenthic communities on the Mallorca-Menorca shelf, northwestern Mediterranean Sea. *Deep-Sea Research* 44: 611-629.
- Carter, R.W.G. (1988). *Coastal environments*. London. Academic Press. 609 pp.
- Carter, R.W.G., Hesp, P. y Nordstrom, K. (1992). *Coastal Dunes. Geomorphology, Ecology and Management for Conservation*. Rotterdam, Balkema. 533 pp.
- Carter, R.W.G., Curtis, T.G.F. y Sheehy-Skeffington, M.J. (Ed.) (1990). Erosional landforms in coastal dunes. En: *Coastal Dunes. Form and Process*. Wiley and sons, Chichester. 217-250.
- Clark, J.R. (1996). *Coastal zone management. Handbook*. Boca Raton. Lewis Publishers. 694 pp.
- Corbí, A. M. (1990). Geomorfologia del sistema dunar de Sa Mesquida (Capdepera) a l'illa de Mallorca. *II Jornades del Medi Ambient de les Balears*, Soc. Hist. Nat Balears-Universitat de les Illes Balears. Palma.
- Cuerda, J. (1975). *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Institut d'Estudis Balearics. Palma de Mallorca. 304 pp.
- Gacia, E. y Duarte, C. (2001). Sediment Retention by a Mediterranean *Posidonia oceanica* Meadow: The Balance between Deposition and Resuspension. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 52, 505-514.
- Gelabert, B., Servera, J. y Rodríguez-Perea, A. (2002). Características geomorfológicas del sistema dunar de la Bahía de Alcudia (Isla de Mallorca). *Geogaceta*. 32: 209-212 Madrid
- Gómez-Pujol L., Orfila A., Cañellas B., Alvarez-Ellacuria A., Mendez F., Medina R. y Tintoré J. (en prensa). Morphodynamic classification of sandy beaches in a microtidal, low energy marine environment. *Marine Geology*.
- Hesp, P. (1988). Surfzone, beach, and foredune interactions on the Australian south east coast. *Journal of Coastal Research*. Special Issue, 3: 15-25.
- Hesp, P. (2002). Foredune and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*. 48: 245-268.
- Hillaire-Marcel, C., Gariépy, C., Ghaleb, B., Goy, J.L., Zazo, C. y Cuerda, J. (1996). U-series measurements in Tyrrhenian deposits from Mallorca – further evidence for two last interglacial high sea-levels in the Balearic Islands. *Quaternary Science Reviews*, 15: 53-62.
- Jansà, J.M. (1979). Climatologia de Menorca. En: *Enciclopèdia de Menorca. 1er Tom: Geografia Física*. Obra Cultural Balear de Menorca. Maó. 85-160.
- Jaume, C. y Fornós, J.J. (1992). Composició i textura dels sediments de platja del litoral mallorquí. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 35: 51-61.
- Jeudy de Grissac, A. (1984). Effects des herbiers de *Posidonia oceanica* sur la dynamique marine et la sedimentologie littorale. In Boudouresque, C.F., Jeudy de Grissac, A. y Olivier, J. (Ed.) *International workshop Posidonia oceanica beds*. Marseille. Vol. 3, 437-443.
- Martín, J. y Rodríguez-Perea, A. (1996). Participación vegetal en la construcción de los sistemas dunares litorales de Mallorca. En Grandal, A. y Pagés, L. (Ed.), *IV Reunión de Geomorfología*. O Castro, A Coruña, Laboratorio Xeológico de Laxe, Sociedad Española de Geomorfología. 785-800.
- Martinez, M.L. y Psuty, N.P. (2004). *Coastal dunes. Ecology and conservation*. Springer, Berlin, 386 pp.
- Mas, J.; Franco, I. y Barcala, E. (1993). Primera aproximación a la cartografía de las praderas de *Posidonia oceanica* en las costas mediterráneas españolas. Factores de alteración y regresión. *Legislación. Publ. Espc. Inst. Esp. Oceanogr.*, 11, 111-122.
- Meulen, F.v.d., Jungerius, P.D. y Visser, J. (Ed.) (1989). *Perspectives in coastal dune management*. The Hague, SPB Academic Publishing. 333 pp.
- Muntaner A. y Jaume, G. (1980). Geomorfología. En: Barcelo, B. y Mayol, J. (Ed.): *Estudio Ecológico de la Albufera de Mallorca (Alcudia, Muro y Sa Pobla)*. Departamento de Geografía de la Universidad de Palma de Mallorca. 47-82 pp.
- Psuty, N.P. (1988). Sediment budget and dune/beach interaction. *Journal of Coastal Research*. Special Issue, 3: 1-4.

- Psuty, N.P. (2004). The coastal foredune: a morphological basis for regional coastal dune development. In: Martínez, M.L. and Psuty, N.P. (Eds). *Coastal dunes. Ecology and conservation*. Springer, Berlin, 11-27.
- Pye, K. (1990) Physical and human influences on coastal dune development between Ribble and Mersey estuaries, northwest England. A Nordstrom, K.F. et al. (ed.): *Coastal dune. Forms and process*. John Wiley and Sons. London. 339-359
- Pye, K. y Tsoar, H. (1990). *Aeolian Sand and Sand Dunes*. Unwin Hyman, London. 396 pp.
- Rita, J. y Rodríguez-Perea, A., Tebar, F.J. (1988). *Sistemas dunares de Menorca. Valoración geoambiental y estado de conservación*. Departament de Biologia y Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. 2 vol.
- Rita, J., Tebar, F. J. y Rodríguez-Perea, A. (1991). Environmental valuation and state of conservation of the coastal dune systems of Menorca (Balearic Islands, Spain). En: Brigand, L.: *Territoires et Sociétés Insulaires. Permanences, changements et devenir*. 417- 420
- Rodríguez-Perea, A., Corbí, A.M. y Servera, J. (1990). El sistema dunar de Sa Canova d'Artà. En Gutierrez, M., Peña, J.L. y Lozano, M.V. (Ed.), *1ª Reunión Nacional de Geomorfología*, Teruel, Sociedad Española de Geomorfología / Instituto de Estudios Turolenses. 365-374 pp.
- Rodríguez-Perea, A., Servera, J. y Martín, J.A. (2000). *Alternatives a la dependència de les platges de les Balears de la regeneració artificial: Informe Metadona*. Col·lecció Pedagogia Ambiental. Universitat de les Illes Balears, Palma. 108 pp.
- Roig-Munar, F. X. (2002). El Pla de neteja integral del litoral de Menorca. Aspectes geomòrfics, ambientals i socials. *Boll. Geografia Aplicada*. 3-4, 51-64.
- Roig, F.X. (2003 a). Identificación de variables útiles para la clasificación y gestión de playas y calas. El caso de la isla de Menorca *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* 35: 175-190.
- Roig, F.X. (2003 b). Análisis de la relación entre capacidad de carga física y capacidad de carga perceptual en playas naturales de la isla de Menorca *Investigaciones geográficas* 31: 107-120.
- Roig, F.X., Rodríguez-Perea, A. y Martín, J.A. (2004). Influencia antrópica en la alteración del sistema playa-duna de son Bou (Menorca). En: G.Benito & A. Díez Herrero (eds.) *Contribuciones Recientes sobre Geomorfología*. (Actas de la VIII Reunión Nacional de Geomorfología, Toledo, 22-25 de septiembre de 2004). SEG y CSIC. Madrid. 375-384.
- Roig, F.X., Comas, E., Rodríguez-Perea, A. y Martín-Prieto, J.A. (2005). Management of Beaches on the Island of Menorca (Balearic Islands): The Tension between Tourism and Conservation. *Journal of Coastal Research*, 49: 89-93.
- Roig, F.X., Martín-Prieto, J.A., Comas, E. y Rodríguez-Perea, A. (2006 a). Space-time Analysis (1956-2004) of human use and management of the Beach-Dune Systems of Menorca (Balearic Islands, Spain). *Journal of Coastal Research*, SI 48: 107-111.
- Roig, F.X., Martín, J.A., Rodríguez, A. y Pons, G.X. (2006 b). Valoración geoambiental y económica de diferentes técnicas de gestión de playas. En: *Geomorfología y territorio*: Actas de la IX Reunión Nacional de Geomorfología. Universidad de Santiago de Compostela. 457-469.
- Rose, J., Meng, X. y Watson, C. (1999). Palaeoclimate and palaeoenvironmental responses in the Western Mediterranean over the last 140 ka: evidence from Mallorca, Spain. *Journal of the Geological Society*, London: 156: 435-448.
- Rosselló Verger, V.M. (1969). El litoral de Mallorca (Sur de Mallorca). *Anales de la Universidad de Murcia*. XXVII (1-2): 223-246.
- Servera, J. y Grimalt, M. (1994). Los sistemas dunares de las Islas de Formentera y de s'Espalmador. En Arnaéz, J., García Ruiz, J.M. y Gómez Villar, A. (Ed.), *Geomorfología en España. III Reunión de Geomorfología*. Logroño, Sociedad Española de Geomorfología. 405-418.
- Servera, J., Martín, J.A., Rosselló, J. y Rodríguez-Perea, A. (1994a). Análisis de la regeneración de playas por medio de trampas-barrera en Cala Agulla (Mallorca). En Arnaéz, J., García Ruiz, J.M. y Gómez Villar, A. (Ed.), *Geomorfología en España. III Reunión de Geomorfología*. Logroño, Sociedad Española de Geomorfología. 419-429.
- Servera, J., Martín, J.A., Rosselló, J. y Rodríguez-Perea, A. (1994b). Estudi de les causes del retrocès de la platja de l'arenal de sa Ràpita. *XIII Jornades d'Estudis Històrics Locals. El desenvolupament turístic a la Mediterrània durant el segle XX*. Palma de Mallorca, Institut d'Estudis Balearics, Govern Balear.
- Servera, J. y Grimalt, M. (1994). Los sistemas dunares de las Islas de Formentera y de s'Espalmador. En Arnaéz, J., García Ruiz, J.M. y Gómez Villar, A. (Ed.), *Geomorfología en España. III Reunión de Geomorfología*. Logroño, Sociedad Española de Geomorfología. 405-418.



- Servera, J. y Martín, J.A. (1996). Análisis y causas del retroceso de la línea de costa del arenal de sa Ràpita (Mallorca). En Grandal, A. y Pagés, L. (Ed.), *IV Reunión de Geomorfología*. O Castro, A coruña, Laboratorio Xeológico de Laxe, Sociedad Española de Geomorfología. 877-890.
- Servera, J. y Rodríguez-Perea, A. (1996). Morfologías parabólicas de los sistemas dunares litorales de Baleares. En Grandal, A. y Pagés, L. (Ed.), *IV Reunión de Geomorfología*. O Castro, A coruña, Laboratorio Xeológico de Laxe, Sociedad Española de Geomorfología. 645-659.
- Severa, J. (1997). Els sistemes dunars litorals de les Illes Balears. Tesis. Universitat de les Illes Balears. 904 pp.
- Servera, J. (1998 a). Els sistemes dunars litorals holocènics: les dunes de Sa Ràpita-Es Trenc (Mallorca). En: Fornós, J. (Ed) *Aspectes geològics de les Balears*. Universitat de les Illes Balears. Palma de Mallorca. 251-306.
- Servera, J. (1998 b). Cartografia Geomorfològica. Sistema dunar de Sa Ràpita-Es Trenc. Fornós, J. (Ed) *Aspectes geològics de les Balears*. Universitat de les Illes Balears. Palma de Mallorca. Lám. única.
- Servera, J. (2003 a). Los sistemas playa-duna holocenos y actuales de Menorca. En: Rosselló, V. M.; Fornós, J. J.; Gómez-Pujol, L. (eds.): *Introducción a la Geografía Física de Menorca*. Palma de Mallorca. 123-138
- Servera, J. (2003 b). El sistema palya-duna de Cala Tirant. En: Rosselló, V. M.; Fornós, J. J.; Gómez-Pujol, L. (eds.): *Introducción a la Geografía Física de Menorca*. Palma de Mallorca. 143-156
- Sherman, D. J. y Nordstrom, K.F. (1994). Hazards of wind-blown sand and coastal sand drifts: a review. *Journal of Coastal Research*. Special Issue, 12, 263-275.
- Sherman, D.J. y Bauer, B.O. (1993). Dynamics of Beach-Dune Systems. *Progress in Physical Geography*. 17 (4): 413-447.
- Tsoar, H. (1983). Wind tunnel modelling of echo and climbing dunes. In: *Eolian Sediments and Processes* (M.E Brookfiels and T.S. Ahlbrandt, eds.), pp. 247-259. Elsevier, Amsterdam.